

IMPAK AKTIVITI PEMROSESAN AMANG SISTEM TERTUTUP KE ATAS KUALITI AIR DAN SEDIMEN SETEMPAT

Muhamad Samudi Yasir¹, Amran Ab Majid², Redzuwan Yahaya¹, Ismail Bahari¹,
& Wong Siew Kim¹

¹Pusat Pengajian Fizik Gunaan, ²Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan,
Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 Bangi, Selangor D.E.

Abstrak

Impak industri amang terhadap kualiti alam sekitar dan kesihatan komuniti telah lama dikaji memandangkan industri ini membabitkan penggunaan sumber air yang banyak serta pemekatan TENORM. Satu kajian telah dilakukan untuk mengukur kualiti air, kandungan unsur radioaktif dan pelbagai logam berat terpilih dalam sampel air dan sedimen di kawasan kilang pemprosesan amang yang menggunakan sistem air tertutup. Sistem air tertutup ini tidak membabitkan pelepasan air sisa industri tersebut ke persekitaran terbuka. Oleh yang demikian sistem tertutup ini dijangka dapat meminimumkan impak pemprosesan amang terhadap persekitaran. Pensampelan ke atas sampel air dan sedimen dilakukan di tiga lokasi, iaitu di kolam semula jadi pembekal sumber air kilang (L1), di kolam konkrit penakungan kitar semula air di luar kilang (L2) dan di titik perlepasan efluen dalam kilang (L3). Pengukuran *in-situ* dilakukan terhadap suhu, pH dan oksigen terlarut. Pembilangan keradioaktifan dilakukan secara langsung bagi Uranium-238 (²³⁸U) dan Torium-232 (²³²Th). Pengekstrakan kimia berurutan dilakukan menggunakan larutan kalium nitrat, natrium hidroksida, dinatrium etilena-diamina tertra-asetik (Na₂EDTA) dan asid nitrik pekat manakala kepekatan logam zink, plumbum, kuprum ditentukan menggunakan spektroskopi serapan atom. Hasil kajian mendapati indeks kualiti air (IKA) bagi kolam bekalan air semula jadi adalah lebih baik berbanding dengan di lokasi pelepasan efluen dan kolam konkrit. Purata kandungan ²³⁸U dan ²³²Th tertinggi pada sedimen di dalam kilang (L3) iaitu masing-masing 1110.5 ± 7.3 Bq/kg dan 1966.6 ± 4.7 Bq/kg manakala pada sampel air pula keradioaktifan tertinggi dicatat pada kedudukan kolam konkrit (L2) iaitu 35.42 ± 1.63 Bq/L (²³⁸U) dan 36.16 ± 1.02 Bq/L (²³²Th). Nilai purata jumlah kandungan Pb dan Cu terekstrak dalam sampel sedimen tertinggi di kedudukan L3, iaitu masing-masing $194.13 \mu\text{g/g}$ dan $9.71 \mu\text{g/g}$ manakala kandungan tertinggi Zn terekstrak pula dikesan pada lokasi L1 ($38.78 \mu\text{g/g}$). Secara keseluruhannya didapati tahap pencemaran air adalah berbeza mengikut urutan L3>L2>L1. Oleh yang demikian sistem kitaran air secara tertutup ini pada keseluruhannya berjaya membendung pencemaran akibat pemprosesan amang ke atas persekitaran.

Abstract

The Impact of amang industry to the environment and community's health has long been studied since the industry uses a large amount of water as well the accumulation of TENORM. A study was carried out to measure the water quality as well as the contents of radioactive substances and selected heavy metals in the water and sediments in the vicinity of an amang processing plant in Kampar Perak, which is using a close water system. The sampling locations selected are; the natural pond, closed to the plant which supply the water for the processing (L1), a recycling concrete pond outside the plant (L2) and an affluent discharge point inside the plant (L3). The techniques of analysis used included *in-situ* measurement and laboratory analysis of water quality, direct counting of radioactivity (Uranium-238 (²³⁸U) and Thorium-232 (²³²Th)), and chemical extraction for atomic absorption spectroscopy of heavy metals (zinc, plumbum, cuprum). Chemical extraction was carried out using potassium nitrate, sodium hydroxide, disodium ethylene-diamine tertra-asetic acid (Na₂EDTA) and concentrated nitric acid solutions. The results show that the water quality indices for the natural pond are much better than at the effluent discharge point or the recycling concrete pond. The average ²³⁸U and ²³²Th concentrations were the highest in sediment samples at L3 (1110.5 ± 7.3 Bq/kg and 1966.6 ± 4.7 Bq/kg respectively). For the water samples, the radioactivity was highest in the water sample collected at concrete pond (L2), which is 35.42 ± 1.63 Bq/L (²³⁸U) and 36.16 ± 1.02 Bq/L (²³²Th). The average value of extracted Pb ($194.13 \mu\text{g/g}$) and Cu ($9.71 \mu\text{g/g}$) was highest in the sediment from L3, while for Zn in sediment taken from L1 ($38.78 \mu\text{g/g}$). In general, the water quality indices of L1 are better than L2 and L3. The closed water recycling system currently practiced by the amang processing plant has successfully contained the contamination to the environment caused by amang processing activities.

Katakunci: Amang, Indeks Kualiti Air, Uranium-238, Torium-232, Logam Berat

Pendahuluan

Amang adalah hasil sampingan industri perlombongan bijih timah. Amang mengandungi pelbagai jenis mineral seperti ilmenit, zirkon dan monazit serta pasir kuarza. Ilmenit menyumbang hampir 80% kandungan mineral, diikuti oleh zirkon (5%) dan monazit (0.5%). Kesemua mineral berat ini turut mengandungi pelbagai unsur radioaktif tabii, khususnya radionuklid yang terdapat dalam siri pereputan ^{238}U dan ^{232}Th . Proses pengasingan bijih timah akan meningkatkan keradioaktifan radionuklid tabii ini (NORM) menjadi TENORM. Oleh yang demikian peningkatan keradioaktifan ini pasti akan memberi kesan keatas pekerja dan persekitaran kilang pemprosesan amang tersebut (Azlina, M.J. et.al., 2003). Tambahan pula radionuklid ^{222}Rn dan ^{220}Rn yang masing-masing terhasil dari siri pereputan ^{238}U dan ^{232}Th adalah berbentuk gas. Ini memungkinkan kedua-dua radionuklid tersebut memasuki sistem tubuh melalui pernafasan.

Kaedah pemprosesan amang membabitkan pengasingan fizikal samada pengasingan basah, goncangan ataupun magnetik. Pengasingan basah membabitkan penggunaan air dengan kuantiti yang banyak. Air ini pada kebiasaannya diperolehi dari sumber sekitaran seperti sungai ataupun perigi. Air buangan juga disalurkan kepada takungan air ataupun air sungai. Oleh yang demikian sifat kimia dan fizikal air pemprosesan amang ini akan turut memasuki ekosistem melalui kaedah pembuangan tersebut.

Kajian ini membabitkan sistem yang dikaji adalah sistem air tertutup. Sistem ini tidak membabitkan pelepas air sisa pemprosesan amang ke sekitaran. Air ini sebaliknya diguna semula untuk pemprosesan, manakala bekalan air tambahan diperolehi dari sebuah kolam semulajadi. Objektif utama kajian adalah melihat kesan pemprosesan amang menggunakan sistem air tertutup ke atas pelbagai parameter fizikal, aras keradioaktifan dan kandungan logam berat pada air dan sedimen di sekitar kawasan industri.

Bahan dan kaedah

Lokasi kajian

Kajian dilakukan di sebuah kilang pemprosesan amang yang menggunakan sistem air tertutup di Mambang Diawan, Gopeng, Perak. Tiga lokasi pensampelan dipilih iaitu, di kolam semulajadi yang membekalkan air (L1), kolam konkrit penakungan air pemprosesan (L2) dan titik pelepasan efluen dalam kilang (L3).

Sampel kajian

Sampel air (1 liter) dan sedimen (2 kg) diambil dari ketiga-tiga lokasi pensampelan. Sampel sedimen dimasukkan ke dalam beg plastik, manakala sampel air dimasukkan ke dalam bekas plastik yang kemudiannya ditambah dengan beberapa titik asid nitrik pekat. Pengukuran *in-situ* yang dilakukan adalah pH, suhu dan oksigen terlarut.

Perawatan sampel

Sampel sedimen di asingkan dari pelbagai bendasing seperti humus dan ranting kayu. Sampel dikeringkan di dalam ketuhar pada suhu 80°C hingga 90°C sehingga beratnya tetap. Sedimen kemudiannya dilarai dan dihancurkan menggunakan mortal sebelum ditapis menggunakan penapis pada saiz 0.8 mm. Hasil ayakan yang diketahui beratnya disimpan dalam bekas polietilena berpenutup dan kemudiannya dikedapkan dengan pita pelekat. Sampel seterusnya disimpan pada suhu bilik selama 30 hari untuk mencapai keseimbangan sekular. Piawai kaedah bandingan yang diguna dalam kajian ini ialah Soil-375 (IAEA).

Sampel air ditapis untuk mengasingkan keladak dan bendasing lain. Sampel, 2000 cm^3 disejatkan di dalam bikar setelah ditambah beberapa titik asid nitrik untuk mengelakkan kandungan air dari melekat pada dinding bekas. Pemanasan dilakukan menggunakan pemanas elektrik sehingga isipadu air mencapai sekitar 250 cm^3 . Isipadu akhir ini dimasukkan ke dalam bekas polietilena berpenutup dan dikedap. Masa keseimbangan 30 hari juga dilakukan sebagaimana sampel tanah. Piawai yang diguna adalah larutan uranium dan torium dengan kepekatan 100 ppm.

Ekstraksi logam berat dilakukan secara berurutan menggunakan larutan kalium nitrat (0.05 M KNO_3), natrium hidroksida (0.5M NaOH), dinatrium etilena-diamina tertra-asid asetik (0.05M Na_2EDTA) dan asid nitrik pekat (and 4.0 M HNO_3). Sebanyak 2.4 g sampel dimasukkan ke dalam 30 ml larutan 0.5 M KNO_3 .

Campuran digoncang selama 16 jam sebelum diempar pada 3000 rpm selama 30 minit. Supernatan diasingkan dan ditapis menggunakan penapis membran bersaiz 0.45 μ m. Kandungan logam berat pada supernatan ini ditentukan menggunakan alat Atomic Absorption Spectrophotometer (Perkins Elmer 3300). Pelet dibilas menggunakan air suling dan diulang proses ekstraksi menggunakan pelarut 0.5M NaOH, 0.05M Na₂EDTA dan akhirnya dengan 4.0 M HNO₃.

Pengukuran parameter fizikal air

Pengukuran *in-situ* dilakukan terhadap pH, suhu, dan oksigen terlarut. pH ditentukan menggunakan meter pH model WINTEG W 100, manakala oksigen terlarut pula menggunakan alat HANNA *Instrument* HI 9142. Analisis makmal terhadap sampel air pula membabitkan pengukuran nitrogen amonia, pepejal terampai, permintaan oksigen kimia (COD) dan permintaan oksigen biokimia (BOD₃). Pengukuran dilakukan menggunakan alat Spektrofotometer model HACH DR/2000.

Penentuan radionuklid

Selepas melepasi tempoh keseimbangan semua sampel dan piawai dibilang aktivitiya menggunakan sistem pembilang sinar gama HPGe -PCA (Tennelec-Nucleus) selama 12 jam.

Penentuan unsur dilakukan dengan perbandingan tenaga puncak foton sampel dengan piawai. Tenaga puncak foton yang diguna untuk pengenalpastian radionuklid ialah 1.76 MeV (²³⁸U), 2.62 MeV (²³²Th).

Perkiraan keradioaktifan

Oleh kerana faktor geometri, masa pembeilangan dan lain-lain parameter pembilangan sama antara sampel dan piawai, maka kandungan radionuklid boleh dikira berdasarkan rumus:

$$W_s = \frac{M_p \times A_s}{M_s \times A_p} \times W_p \text{ (Bq/kg)}$$

| | |
|-------|--|
| W_s | kepekatan radionuklid dalam sampel (Bq/kg) atau (Bq/L) |
| W_p | kepekatan radionuklid dalam piawai (Bq/kg) atau (Bq/L) |
| M_s | jisim sampel diguna (g) atau (ml) |
| M_p | jisim piawai diguna (g) atau (ml) |
| A_s | aktiviti unsur dalam sampel (kps) |
| A_p | aktiviti unsur dalam piawai (kps) |

Kandungan logam berat

Kandungan logam berat dalam supernatan pengekstrakan ditentukan menggunakan alat Atomic Absorption Spectrophotometer (Perkins Elmer 3300). Kepekatan logam tersebut dikira menggunakan rumus;

$$C_t = C_a + C_b + C_c + C_d$$

| | |
|-------|--|
| C_t | : kepekatan total logam berat |
| C_a | : kepekatan logam berat mudah larut (KNO ₃) |
| C_b | : kepekatan logam berat terikat-organik (NaOH) |
| C_c | : kepekatan logam berat bentuk oksida (Na ₂ EDTA) |
| C_d | : kepekatan logam berat terikat-primer (HNO ₃) |

Hasil dan perbincangan

Parameter fizikal air

Kolam semulajadi (L1) bertindak membekalkan air untuk memproses amang. Kedudukan kolam adalah sekitar 200 meter dari bangunan pemprosesan dan tidak ada air buangan (efluen) kilang yang disalurkan ke kolam ini. Walau bagaimanapun terdapat longgokan amang yang belum diproses tidak berapa jauh dari kolam ini. Jadual 1 menunjukkan data parameter fizikal air.

Jadual 1. Pelbagai parameter fizikal kualiti air

| Parameter / lokasi | L1 | L2 | L3 |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | 30 ± 0 | 30 ± 0 | 30 ± 0 |
| pH | 7.14 ± 0.01 | 2.86 ± 0.03 | 2.88 ± 0.03 |
| N-amonia (mg/L) | 0.13 ± 0.02 | 2.12 ± 0.06 | 3.30 ± 0.14 |
| COD (mg/L) | 47 ± 1 | 87 ± 7 | 116 ± 0 |
| BOD (mg/L) | 8.1 ± 0 | 2.4 ± 0.1 | 3.0 ± 0.4 |
| O ₂ -terlarut (mg/L) | 9.1 ± 0.1 | 8 ± 0 | 8.5 ± 0.1 |
| Pepejal terampai (mg/L) | 22 ± 1 | 397 ± 2 | 481 ± 4 |

Nilai pH bagi L1 hampir neutral. Ini bersesuaian dengan keadaan semulajadinya dan tidak ada pencemaran dari efluen kilang. Lokasi L2 dan L3 merupakan masing-masing kolam kitar semula air buangan dan titik pelepasan efluen. Seperti dijangkakan nilai pHnya adalah asidik kerana air ini adalah yang telah diguna untuk pemprosesan amang tersebut. Nilai permintaan oksigen kimia (COD) merujuk kepada keperluan oksigen bagi mengoksidakan bahan organik. Nilai COD yang tinggi menggambarkan kualiti air yang rendah. Kajian ini mendapati nilainya meningkat mengikut urutan $L3 > L2 > L1$. Permintaan oksigen biokimia (BOD) pula merupakan kuantiti oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisma untuk mengoksidakan bahan organik. Nilai yang tinggi menggambarkan paras pencemaran bahan organik yang tinggi. Hasil kajian ini mendapati nilai BOD tertinggi pada kolam semulajadi (L1) diikuti oleh L3 dan L2. Ini bermaksud dalam kolam semulajadi mikroorganisma akuatik memerlukan oksigen yang lebih berbanding lokasi L3 dan L2 bagi mengoksidakan bahan organik. Keadaan ini dapat dilihat pada kandungan oksigen terlarut, yang mana nilainya juga tertinggi pada L1, diikuti oleh L3 dan L2. Kandungan pepejal terampai dan N-amonia yang tinggi juga menunjukkan bahawa pencemaran fizikal dan kimia lebih berlaku pada kedudukan L2 dan L3 berbanding kolam L1. Berdasarkan kepada hasil ini, indeks kualiti air (IKA) L1 berada pada kelas III, iaitu sedikit tercemar manakala air pada L2 dan L3 masing-masing pada kelas sederhana tercemar dan tercemar (Jadual 2) (Proposed Interim National Water Quality Standard for Malaysia). Air pada kelas III memerlukan proses rawatan menyeluruh dan biasanya mempunyai nilai ekonomi dan spesis ternakan, manakala kelas IV hanya sesuai untuk pengairan. Air kelas V tidak sesuai untuk sebarang kegunaan. Oleh yang demikian hasil kajian ini secara amnya menunjukkan bahawa kualiti air pada L1 adalah lebih baik berbanding L3 dan L2.

Jadual 2 : Indeks kualiti air (IKA) bagi setiap lokasi pensampelan

| Lokasi pensampelan | subindeks | | | | | | IKA |
|--------------------|-----------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | SIAN | SIBOD | SICOD | SIDO | SIpH | SISS | |
| L1 | 86.85 | 68.36 | 47.37 | 1.94 | 98.91 | 85.13 | 59.52 |
| L2 | 27.3 | 90.25 | 22.80 | 1.42 | 9.07 | 31.66 | 31.37 |
| L3 | 7.69 | 87.71 | 12.05 | 1.65 | 9.3 | 25.67 | 25.33 |

Nota : Gred IKA

- Kelas V : < 31.0 (tercemar)
- Kelas IV : 31.0 – 51.2 (sederhana tercemar)
- Kelas III : 51.2 – 76.3 (sedikit tercemar)

Kandungan Uranium-238 (²³⁸U) dan Torium-232 (²³²Th)

Kandungan Uranium-238 (²³⁸U) dan Torium-232 (²³²Th) ditentukan melalui pembilangan langsung selama 12 jam. Kandungan ²³⁸U dan ²³²Th di ketiga-tiga lokasi berada pada masing-masing julat 28.98 Bq/L – 35.42 Bq/L dan 29.59 Bq/L – 36.12 Bq/L, manakala pada sampel sedimen pula julatnya adalah 262.9 Bq/kg – 1110.5 Bq/kg (²³⁸U) dan 154.4 Bq/kg – 1966.6 Bq/kg (²³²Th) (Jadual 3).

Jadual 3 : Kandungan ²³⁸U dan ²³²Th dalam sampel air dan sedimen di pelbagai lokasi pensampelan

| lokasi | Air (Bq/L) | | Sedimen (Bq/kg) | |
|--------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | ²³⁸ U | ²³² Th | ²³⁸ U | ²³² Th |
| L1 | 28.98 ± 1.35 | 29.59 ± 0.89 | 262.9 ± 3.9 | 154.4 ± 1.7 |
| L2 | 35.42 ± 1.63 | 36.16 ± 1.02 | 516.8 ± 4.4 | 292.1 ± 1.9 |
| L3 | 28.98 ± 1.35 | 32.05 ± 0.87 | 1110.5 ± 7.3 | 1966.6 ± 4.7 |

Dari Jadual 3 di atas didapati bahawa kandungan ²³⁸U dan ²³²Th adalah tertinggi pada sampel L2 (sampel air) dan L3 (sampel sedimen). Kandungan terendah dicerap pada L1. Ini amat bersesuaian kerana L1 adalah kolam semulajadi dengan nilai pH yang hampir neutral (Jadual 1). Kelarutan ²³²Th adalah rendah dalam larutan bes, manakala ²³⁸U lebih mudah melarut dalam keadaan asid (Boyle, 1982). Walau bagaimanapun nilai ²³⁸U dan ²³²Th sampel air dan sedimen pada L1 ini masih lebih tinggi berbanding dengan nilai latar belakang. Muhamad Samudi Yasir et. al. 2006 mendapati kandungan ²³⁸U dan ²³²Th pada sampel tanah di luar kawasan industri perlombongan timah adalah masing-masing 31.64 Bq/kg dan 27.37 Bq/kg. Manakala Redzuwan Yahaya et.al. (1997) pula melaporkan nilai antara 6.27 – 435.95 Bq/kg (²³⁸U) dan 12.9 – 301.59 Bq/kg (²³²Th) pada sampel tanah yang diambil dari pelbagai kawasan di Selangor. Mereka membuat kesimpulan bahawa perbezaan kandungan ini disumbang oleh keperlbagaian aktiviti pembangunan seperti perlombongan, pertanian dan industri kawasan kajian. Corak yang sama juga telah dilaporkan oleh Amran Ab Majid et.al. (2004). Hasil kajian Sroor et.al. (2001) pula mendapati kandungan ²³⁸U di perbagai lokasi di Mesir berada dalam julat 3 – 102 Bq/kg dan 1.86 – 117 Bq/kg bagi ²³²Th. Oleh yang demikian walaupun dalam sistem pemprosesan amang syarikat ini kolam semulajadi ini tidak menerima efluen sisa pemprosesan amang dan pH air tidak berasidnya, tetapi kolam ini mungkin turut tercemar oleh lonngokan amang belum proses yang ditimbunkan berhampiran kolam tersebut.

Hasil kajian juga mendapati kandungan ²³²Th dan ²³⁸U dalam sampel air adalah hampir sama. Sunggupun begitu dalam keadaan tabii nisbah U/Th biasanya lebih tinggi kerana uranium lebih mudah larut dalam air

berbanding torium, kecuali di kawasan yang kandungan toriumnya tinggi. Ini disumbangkan oleh kandungan ^{232}Th dalam sampel amang adalah lebih tinggi berbanding ^{238}U , kecuali bagi sampel ilmenit (Jadual 4). Gonzalez-Labajo et.al. (2001) melaporkan nisbah $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ dan $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ lebih rendah pada sedimen sungai yang berada pada jarak lebih jauh dari kawasan perlombongan. Mereka menjangkakan peningkatan uranium ini berpunca dari aktiviti perlombongan tersebut.

Jadual 4 : Kandungan ^{238}U dan ^{232}Th dalam sampel produk amang dan standard IAEA – 375 (soil)

| sampel | Sedimen (Bq/kg) | |
|-------------------|------------------|-------------------|
| | ^{238}U | ^{232}Th |
| ilmenit | 318.9 ± 2.6 | 142.7 ± 1.2 |
| xenotim | 6911.1 ± 11.7 | 3733.1 ± 6.0 |
| monazit | 1856.5 ± 9.3 | 10287.1 ± 9.3 |
| IAEA – 375 (soil) | 24.4 | 20.5 |

Juga didapati bahawa kandungan ^{238}U dan ^{232}Th lebih tinggi di sampel sedimen berbanding sampel air. Ini disebabkan sememangnya sedimen sisa industri amang masih mengandungi ^{238}U dan ^{232}Th . Selain dari kesukaran untuk kedua-dua radionuklid ini melarut, Boyle (1982) melapurkan terdapat mikroorganisma dan tumbuhan akuatik yang berupaya mengekstrak uranium dan torium dari air dan menjadikannya tidak mobil yang akhirnya membawa kedua-dua unsur ini ke sedimen sungai dan tasik. Kandungan ^{238}U dan ^{232}Th dari sampel amang jauh lebih tinggi dari sampel sedimen (Jadual 4). Kandungan sedimen ^{238}U dan ^{232}Th yang tinggi pada sedimen L2 dan L3 adalah disebabkan sedimen tersebut masih mengandungi sebahagian amang yang terlepas dari pemprosesan.

Kandungan logam berat

Logam berat (kuprum, Cu; Plumbum, Pb and Zink, Zn) yang terdapat dalam sedimen diekstrak menggunakan larutan KNO_3 , NaOH , Na_2EDTA dan HNO_3 . Setiap larutan ini mengekstrak logam berat yang membentuk ikatan kimia berbeza pada sedimen tersebut. Larutan KNO_3 mengekstrak logam berat mudah larut, NaOH pula mengekstrak logam yang membentuk ikatan organik, Na_2EDTA mengekstrak logam berat bentuk oksida, manakala HNO_3 mengekstrak logam yang membentuk ikatan primer. Kandungan logam berat yang diekstrak ini diukur menggunakan spektrofotometer serapan atom dan ditunjukkan dalam Jadual 5.

Plumbum merupakan unsur logam berat yang dominan dalam setiap pelarut ekstraksi sedimen dari semua lokasi pensampelan serta sampel amang, ilmenit dan standard IAEA - 375 (soil) diikuti oleh logam Zn dan Cu. Kepekatan ekstraksi total bagi Pb, Cu dan Zn sampel sedimen berada pada masing-masing julat 46.77 – 196.49 $\mu\text{g/g}$, 21.48 - 38.78 $\mu\text{g/g}$ dan 5.73 – 9.72 $\mu\text{g/g}$. Kandungan terendah Pb dicerap pada kolam semulajadi (L1) ialah 46.77 $\mu\text{g/g}$, manakala kandungan tertinggi terdapat di L3 iaitu titik pelepasan efluen (196.49 $\mu\text{g/g}$), diikuti oleh kolam kitaran semula (142.75 $\mu\text{g/g}$). Nilai yang tinggi bagi kedua-dua lokasi ini berpunca dari sisa pemprosesan amang. Ini jelas kelihatan kerana kandungan Pb pada sampel amang adalah sangat tinggi (8145.19 $\mu\text{g/g}$). Untuk logam Zn dan Cu kandungannya pada sedimen tidak setinggi kandungan Pb. Walau bagaimanapun kepekatan Zn pada sedimen kolam semulajadi adalah lebih tinggi dari sampel lain termasuk amang dan ilmenit.

Jadual 5: Kandungan Cu, Pb dan Zn dalam larutan ekstraksi sampel sedimen (mg/g)

| Lokasi pensampelan | unsur | KNO ₃ | NaOH | Na ₂ EDTA | HNO ₃ | jumlah |
|--------------------|-------|------------------|---------|----------------------|------------------|---------|
| L1 | Pb | 4.13 | 7.13 | 23.63 | 11.88 | 46.77 |
| | Zn | 1.84 | 8.33 | 9.86 | 18.75 | 38.78 |
| | Cu | 0.79 | 2.06 | 1.25 | 1.63 | 5.73 |
| L2 | Pb | 3.5 | 7.25 | 69.25 | 62.75 | 142.75 |
| | Zn | 2.68 | 3.39 | 4.63 | 10.78 | 21.48 |
| | Cu | 0.96 | 1.23 | 1.34 | 3.05 | 6.58 |
| L3 | Pb | 6.13 | 10.61 | 97.25 | 82.50 | 196.49 |
| | Zn | 2.84 | 10.61 | 7.53 | 15.98 | 36.96 |
| | Cu | 1.10 | 1.41 | 1.38 | 5.83 | 9.72 |
| Amang | Pb | 377.81 | 1394.88 | 854.29 | 5518.21 | 8145.19 |
| | Zn | 1.42 | 1.25 | 1.83 | 2.29 | 6.79 |
| | Cu | 25.13 | 56.94 | 44.42 | 99.89 | 251.51 |
| Ilmenit | Pb | 618.75 | 1150.25 | 846.33 | 4977.43 | 7592.76 |
| | Zn | 1.03 | 1.36 | 2.25 | 1.34 | 5.98 |
| | Cu | 23.00 | 44.29 | 49.56 | 87.75 | 204.60 |
| IAEA-375(soil) | Pb | 967.06 | 1540.00 | 720.00 | 5546.25 | 8779.25 |
| | Zn | 1.31 | 1.03 | 2.32 | 2.47 | 7.13 |
| | Cu | 25.47 | 58.52 | 50.84 | 85.14 | 219.97 |

Jadual 6 menunjukkan kecekapan ekstraksi setiap pelarut terhadap logam berat yang diukur. Asid nitik pekat mempunyai kuasa ekstraksi terkuat (45.05%) diikuti oleh 0.05M Na₂EDTA (30.0%), 0.5M NaOH (16.93) dan 0.5M KNO₃ (8.02%). Asid nitrik sememang berupaya mengeluarkan hampir semua bentuk ion, manakala Na₂EDTA adalah agen pengkelat. Larutan Na₂EDTA ini dapat membentuk kompleks dengan berbagai bentuk ion seperti yang larut air, boleh tukarganti ataupun yang terjerap atau terikat organik, oksida dan dalam bentuk mineral liat sekunder. (Alloway, 1995). Oleh yang demikian hasil kajian ini mendapati kebanyakan logam berat hanya dapat diekstrak samada menggunakan asid kuat ataupun agen pengkelat. Ini menunjukkan bahawa Pb yang juga merupakan logam pencemar utama terdapat dalam bentuk oksida dan juga mineral primer.

Jadual 6: Purata kepekatan Pb, Zn dan Cu (mg/g) serta peratus ekstraksi (%) bagi setiap pelarut

| logam/pelarut | | KNO ₃ | NaOH | Na ₂ EDTA | HNO ₃ | jumlah |
|----------------|---------|------------------|-------|----------------------|------------------|--------|
| Pb | Purata | 4.59 | 8.33 | 63.38 | 52.38 | 128.68 |
| | Peratus | 3.57 | 6.47 | 49.25 | 40.71 | 100 |
| Zn | Purata | 2.45 | 7.44 | 7.34 | 15.17 | 32.40 |
| | Peratus | 7.56 | 22.96 | 22.65 | 46.82 | 100 |
| Cu | Purata | 0.95 | 1.57 | 1.33 | 3.50 | 7.35 |
| | Peratus | 12.93 | 21.36 | 18.10 | 47.62 | 100 |
| Purata peratus | | 8.02 | 16.93 | 30.00 | 45.05 | 100 |

Kehadiran logam berat terutamanya Pb pada sedimen lebih tinggi berbanding dengan Zn dan Cu. Oleh kerana ekstraksi logam berat ini meningkat dengan keasidan, penurunan pH air persekitaran boleh meningkatkan kecekapan ekstraksi pelbagai unsur logam berat. Jika keadaan ini berlaku ia boleh mendatangkan masalah serius kerana logam terlarut ini boleh memasuki jazad air dan rantai kehidupan

Kesimpulan

Hasil kajian ini mendapati bahawa kualiti air bagi L1 adalah lebih baik berbanding dengan L3 dan L3. Kandungan ²³⁸U dan ²³²Th dalam sedimen bagi ketiga-tiga stesen lebih tinggi berbanding dengan kandungan latar. Oleh yang demikian sedimen pada L1 turut tercemar walaupun sisa efluen kilang pemprosesan amang tidak dialirkan ke kolam tersebut. Pencemaran ini berpunca dari longgokan amang yang terdapat berhampiran kolam tersebut. Kehadiran logam berat terutamanya Pb pada sedimen lebih tinggi berbanding dengan Zn dan Cu. Keupayaan larutan ekstraksi tertinggi bagi asid pekat dan diikuti oleh Na₂EDTA, NaOH dan KNO₃.

Oleh kerana sistem air tertutup ini tidak membabitkan pembuangan efluen air ke kolam semulajadi, pencemaran oleh efluen industri amang dapat dikurangkan. Ini dapat mengelakkan IKA dari berada pada kelas yang lebih tinggi. Sungguhpun begitu kandungan ²³⁸U dan ²³²Th lebih tinggi dari bacaan latar. Ini menunjukkan masih terdapat pencemaran amang pada kolam tersebut. Sekiranya masalah ini dapat diatasi kaedah sistem air tertutup ini dijangka dapat membendung pencemaran efluen pemprosesan amang dengan lebih berkesan kepada persekitaran yang berlaku dikebanyakan tempat.

Penghargaan

Setinggi penghargaan ditujukan kepada semua staf Makmal Program Sains Nuklear, Pusat Pengajian Fizik Gunaan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia di atas segala bantuan kepakaran dan kewangan yang diberi.

Rujukan

1. Amran Ab Majid, Muhamad Samudi Yasir dan Redzuwan Yahaya, 2004. Dalam: *Indicators of Sustainable Development: Assessing Changes in Environmental Conditions*. A. Latif, J.J. Periera & A. Hexri (eds), Institute for Environment and Development (LESTARI) UKM, Bangi, 213 – 225.
2. Alloway, B.J. **1995**. *Heavy Metal in Soils*. 2nd Ed. Blackie Academic and Professional : 341.
3. Azlina, M.J., B. Ismail, M. Samudi Yasir, Syed Hakimi Sakuma and M.K. Khairuddin. 2003. *Applied Radiation and Isotope*. 58: 413 - 419.
4. Boyle. R.W. 1982. *Geochemical Prospecting For Thorium and Uranium Deposits – Developments in Economic Geology*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 279, 280.
5. Gonzalez-Labajo, J.P. Bplovlar, R. Garcia-Tenorio. 2001 *Radiat. Physics and Chem.* 61: 643 – 644.
6. Muhamad Samudi Yasir, Amran Ab Majid, Farhana Ibrahim, Siti Qalila Mohd Tap, Mohd Rashidan Zainol Abidin. 2006. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 10 : 35 – 41.
7. Redzuwan Yahaya, Che Rosli Che Mat, Muhamad Samudi Yasir, Amran Ab Majid, Ismail Bahari dan Sukiman Sarmani. 1997. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 3 : 237 - 241.
8. Sroor A.S., El-Bahi, A., Ahmed, S.M., & Abdel-Haleem, A.S. 2001. *Applied Radiation and Isotop*. 55 : 873 - 879.